

PEMODELAN PERTUMBUHAN DAN PEMAKAIAN AIR TANAMAN PALAWIJA DI LAHAN KERING

Crop Growth And Water Use Modeling Of Upland Crops

Hermantoro¹ dan Pusposutarjo²

ABSTRACT

Palawija is still used as secondary food in Indonesia. Some of palawija crops were source of the carbohydrate, and the others like a peanut and soybean are source of protein. The common palawija crops grown on upland area are soybean, peanut, green pea, and corn. The major constraints on development of upland area for agriculture purpose was water scarcity and availability data of crops water requirement. The objective of the research was to develop the crop growth and water use modeling, determining the transpiration coefficient and crop water requirement of upland crops.

By simulating the transpiration coefficient as a function of Unit Crop Index (UCI), found that the transpiration coefficient of these upland crops was fit with the five-degree polynomial equation, with UCI as an independent variable. Total water requirement of soybean, peanut, green pea, and corn were 191, 202, 146 and 214 mm in wet season; and 283, 287, 210, and 305 in dry season respectively.

Keywords:

PENDAHULUAN

Di berbagai wilayah Indonesia palawija biasa digunakan sebagai makanan pokok selain beras. Sebagai makanan pokok palawija mempunyai nilai karbohidrat yang cukup, bahkan beberapa jenis palawija kacang-kacangan dan kedelai merupakan sumber utama protein nabati. Penggunaan palawija sebagai makanan pokok tersebut masih terus dilakukan,

terutama ditunjang oleh kebijakan program diversifikasi pangan untuk mengurangi ketergantungan pada beras.

Tanaman palawija dalam pertumbuhannya memerlukan air relatif sedikit bila dibandingkan dengan tanaman padi, yakni antara 0,25 – 0,3 kebutuhan air tanaman padi. Dengan demikian pada kondisi jumlah air tersedia tertentu dapat diusahakan tanaman palawija lebih luas,

¹ Dosen Fateta Instiper Yogyakarta dan Mahasiswa Pasca Sarjana TEP-IPB

² Dosen Fateta Universitas Gadjah Mada Yogyakarta

demikian juga bagi daerah yang ketersediaan airnya terbatas atau pada musim kemarau penanaman palawija masih dapat dilakukan dengan baik, dengan resiko kegagalan yang lebih kecil.

Kebutuhan air tanaman merupakan air yang diperlukan oleh tanaman untuk mengganti air yang hilang melalui transpirasi dan evaporasi, secara bersama-sama pada umumnya disebut sebagai evapotranspirasi. Kebutuhan air tanaman palawija dapat ditentukan secara langsung maupun dengan menggunakan data anasir cuaca. Penentuan secara langsung akan memakan waktu, mahal dan diperlukan pengalaman yang cukup, sedangkan dengan menggunakan cara kedua akan diperoleh nilai evapotranspirasi potensial. Terdapat beberapa metode empiris yang dapat digunakan (Dorenboos dan Pruitt, 1977). Untuk memperoleh nilai evapotranspirasi aktual diperlukan suatu koefisien tanaman, dengan demikian koefisien tanaman akan sangat bermanfaat dalam prediksi kebutuhan air untuk pertumbuhan tanaman.

Oleh karena informasi tentang nilai kebutuhan air tanaman (Crop Water Requirement) palawija, terutama kebutuhan air untuk setiap tingkatan pertumbuhan dan nilai koefisien transpirasi tanaman masih sangat kurang maka penelitian untuk menentukan besarnya nilai kebutuhan air tanaman dan koefisien transpirasi tanaman sangat perlu dilakukan. Tujuan utama penelitian ini adalah :

1. Menguji keandalan model pertumbuhan dan pemakaian air tanaman palawija.
2. Menentukan koefisien transpirasi beberapa tanaman palawija
3. Menentukan kebutuhan air beberapa tanaman palawija

Kebutuhan air tanaman sangat diperlukan dalam manajemen irigasi yang efisien, sedangkan nilai koefisien transpirasi tanaman secara lebih khusus diperlukan diperlukan dalam perancangan dan manajemen sistem irigasi hemat air, misalnya pada sistem irigasi bawah permukaan.

PENGHAMPIRAN MASALAH

Kebutuhan air tanaman lahan kering seperti palawija pada umumnya merupakan kebutuhan untuk evapotranspirasi saja, sedangkan untuk padi sawah biasanya ditambah dengan air untuk perkolasi. Nilai evapotranspirasi tanaman tergantung dari faktor tanaman, keadaan cuaca selama pertumbuhan tanaman, dan tanah. Penentuan evapotranspirasi tanaman (aktual) dapat dilakukan melalui pengukuran langsung dengan percobaan lapang atau diprediksi melalui perhitungan nilai evapotranspirasi potensial dan penggunaan faktor tanaman.

Nilai evapotranspirasi potensial dapat ditentukan dengan menggunakan beberapa metode yang telah umum digunakan, yaitu : metode Penman, Jensen Haise, Blaney-Criddle, dan metode Panci Evaporasi (Dorenboos dan Pruitt, 1977), sedangkan FAO (Smith A., 1990) merekomendasikan penggunaan

Metode Penman-Montheit sebagai berikut :

$$Ep = ks * Etp \quad (5)$$

$$Ea = Ep / (N^{t-1}) \quad (6)$$

$$Etp = \frac{0,408\Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273,3} U_2 (e_a - e_d)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34 U_2)} \quad (10)$$

dimana :

Etp : Evapotranspirasi potensial, mm.hr⁻¹

Rn : Radiasi surya netto pada permukaan tanaman, MJ.m⁻².hr⁻¹

G : Aliran panas tanah, MJ.m⁻².hr⁻¹

T : Temperatur rata-rata, °C

U₂ : Kecepatan angin pada ketinggian 2 meter, m.dt⁻¹

(e_a - e_d) : Defisit kurva tekanan uap, kPa

Δ : Kemiringan kurva tekanan uap, kPa.°C⁻¹

γ : Konstanta psychrometrik, kPa.°C⁻¹

900 : $\left[\frac{KJ}{kg.K} \right]$

e_a : Tekanan uap jenuh pada temperatur T, kPa

e_d : tekanan uap aktual, kPa

dimana :

Etp: evapotranspirasi potensial, mm

Eta: evapotranspirasi aktual, mm

SWS: lengas tanah tersedia, mm

AWS: total tanah tersedia (FC-WP), mm

Ep: Evaporasi potensial, mm

Ea: Evaporasi aktual, mm

Tp: Transpirasi potensial, mm

Ta: Transpirasi aktual, mm

Kc: Koefisien transpirasi tanaman, mm

Ks: Koefisien evaporasi, kc + ks = 1

t: Waktu (hari) setelah tanah dibasahi

N: Tetapan iaju pengeringan tanah

FC: Kadar lengas kapasitas lapang, mm

WP: Kadar lengas titik layu, mm

Menurut Hill R.W. dan Hank R.J (1978) dan Pusposutarjo (1982) nilai evapotranspirasi aktual dapat dipisahkan menjadi nilai evaporasi dan transpirasi dengan persamaan-persamaan sebagai berikut:

$$Tp = kc * Etp \quad (2)$$

kemudian,

$$Ta = Tp, \text{ bila } SWS / AWS \geq 0,5 \quad (3)$$

atau,

$$Ta = (Tp / 0,5) * SWS / AWS \quad (4)$$

selanjutnya,

Pada persamaan di atas jelas dipisahkan antara evaporasi dari permukaan tanah di sekitar tanaman dengan transpirasi dari tanaman, masing-masing dengan menggunakan koefisien transpirasi tanaman (kc) untuk transpirasi dan koefisien evaporasi (ks) untuk evaporasi. Pemisahan tersebut sangat berguna manakala akan dilakukan pemberian air irigasi yang efisien, dengan mengurangi kehilangan air melalui evaporasi dari permukaan tanah, seperti misalnya sistem irigasi bawah permukaan tanah.

Di daerah beriklim muson tropik basah tanaman palawija dimung-

kinkan ditanam setiap saat sepanjang tahun, maka untuk mengeliminir pengaruh tanggal tanam dan umur tanaman maka nilai kc (koefisien transpirasi tanaman) dinyatakan sebagai fungsi dari satuan indeks tanaman (*unit crop index* : UCI). Pada lingkungan iklim hujan tropika basah Pusposutardjo (1982) memperoleh formulasi satuan indeks tanaman sebagai fungsi dari radiasi matahari, temperatur minimum, dan temperatur rata-rata harian, sebagai berikut :

$$CI_{sj} = \sum_{t=0}^{sj} (Rs)_t / \sum_{t=0}^{sj} (Tav)_t + \sum_{t=0}^{sj} (T_{min})_t^{0.7} \quad (8)$$

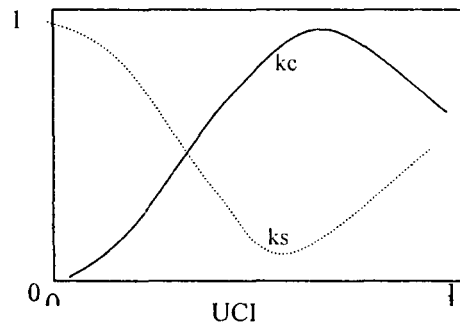
$$UCI = CI_{sj} / CI_m \quad (9)$$

dimana :

- CI_{sj}: Indek tanaman sampai fase sj
 Rs: Radiasi matahari, cal/cm²/hari
 Tav: Temperatur rata-rata harian, °C
 T_{min}: Temperatur minimum harian, °C
 Sj: Fase pertumbuhan tanaman
 T: Waktu (hari)
 Ci_m: Indek tanaman pada masak fisiologis
 UCI: Satuan indek tanaman

Nilai koefisien transpirasi suatu tanaman semusim tertentu besarnya tergantung pada umur tanaman. Pada saat awal pertumbuhan tanaman nilai koefisien transpirasi tanaman masih kecil, kemudian terus meningkat dengan cepat pada fase vegetatif sampai mencapai maksimum pada fase generatif (pembuahan/ pembentukan buah/biji) dan kemudian menurun sampai dengan fase masak. Eva-

porasi dari permukaan tanah disekitar tanaman pada saat awal pertumbuhan tanaman mencapai maksimum, oleh karena permukaan tanah belum tertutup oleh tajuk tanaman. Sejalan dengan pertumbuhan tanaman evaporasi akan menurun. Skema koefisien transpirasi dan evaporasi pada tanaman semusim dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema kc dan ks sebagai fungsi dari UCI

Persamaan neraca air yang digunakan dalam pemodelan ini adalah masukan (*input*) = luaran (*output*) + perubahan simpanan, yang dapat dituliskan sebagai berikut:

$$Sm_t - Sm_{t-1} = P_t + Ir_t - (Ea + Ta)_t - Dp_t - Ro_t \quad (10)$$

dimana :

- Sm: Kandungan lengas aktual, mm
 P: Hujan, mm
 Ir: Irigasi, mm
 Dp: Perkolasi, mm
 Ro: Limpasan, mm

Untuk menyelesaikan persamaan neraca air tersebut di atas diberlakukan beberapa asumsi, sebagai berikut :

1. Hujan terjadi merata pada seluruh petak percobaan.
2. Tidak ada pasok lengas tanah dari air tanah. Untuk mencapai hal tersebut percobaan dilakukan pada daerah dengan jeluk muka air tanah dalam.
3. Keadaan lingkungan mendukung pertumbuhan tanaman, sehingga tanaman dapat mencapai pertumbuhan penuh.
4. Perkolasi dianggap sebagai kelebihan air dalam tanah setelah mencapai kapasitas lapang.

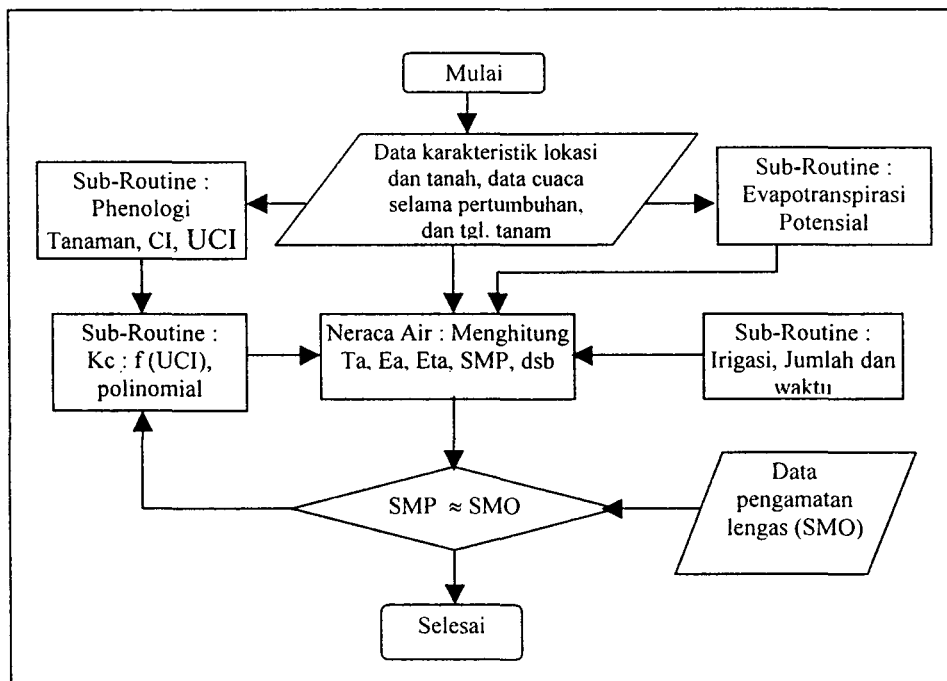
METODE PENELITIAN

Tanaman palawija yang digunakan dalam penelitian ini adalah kedelai, kacang tanah, kacang hijau, dan jagung. Teknik budidaya

dilakukan sesuai dengan ketentuan dari Instansi terkait setempat.

Dengan demikian diharapkan hasil yang dicapai dapat mewakili rata-rata hasil setempat. Pengukuran dan pengamatan dilakukan untuk memperoleh data sebagai berikut : karakteristik lokasi (lintang dan bujur tempat, ketinggian tempat) dan tanah (berat volume, berat jenis, kadar air tanah pada kapasitas lapang, kadar air pada titik layu), cuaca selama pertumbuhan tanaman (temperatur, kelembaban udara, radiasi matahari, kecepatan angin), kadar air tanah pada daerah perakaran (tiap kedalaman lapisan tanah, mingguan), dan pertumbuhan tanaman.

Dengan dibuat guludan mengelilingi petak percobaan maka $R_o = 0$, bila $h \geq P_t$, dimana h adalah tinggi



Gambar 2. Blok Diagram Proses Penentuan Kebutuhan Air dan kc dengan Model Neraca Air

guludan. Etp dihitung dengan menggunakan Metode Penman-Montheit (Smith A.,1990). Nilai Eta dihitung menggunakan persamaan (2) s/d (7). Nilai satuan indeks tanaman dihitung dengan persamaan (8) dan (9), sedang persamaan neraca air digunakan persamaan (10). Untuk memperoleh nilai koefisien transpirasi tanaman dan kebutuhan air tanaman dilakukan dengan simulasi koefisien transpirasi tanaman sebagai fungsi dari UCI, $kc : f(UCI)$ hingga didapatkan keluaran kadar air tanah yang tidak berbeda nyata dengan kadar air tanah hasil pengukuran. Kriteria tidak berbeda nyata yang digunakan adalah regresi sederhana dan persentase penyimpangan, R sebagai berikut :

$$R = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Smo_i - Smp_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Smo_i)^2}} \leq 5\% \quad (11)$$

Prosedur analisis neraca air untuk memperoleh nilai koefisien transpirasi tanaman dan kebutuhan air tanaman dapat dilihat pada Gambar 2.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Indeks Tanaman (*Crop Index = CI*)

Analisis pertama kali dilakukan untuk memperoleh nilai indeks tanaman palawija dengan menggunakan pers (8), hasil yang diperoleh disajikan pada Tabel 1.

Dari Tabel 1 terlihat bahwa pada tanaman tertentu umur tanaman untuk

mencapai tingkat perkembangan tertentu (fase) dapat berbeda sampai 5 hari (71 – 76 hari). Akan tetapi nilai indeks tanaman (CI) yang dicapai adalah tetap. Perbedaan kisaran umur tanaman tersebut ternyata tidak lebih dari 10 %. Uji keandalan nilai indeks tanaman seperti pada Gambar 4.

B. Koefisien Transpirasi Tanaman (kc)

Dengan melakukan simulasi nilai kc sebagai fungsi UCI sampai didapatkan kadar air tanah yang dapat diterima, diperoleh nilai untuk tanaman kc tanaman sebagai fungsi UCI berupa fungsi polinomial derajat lima dari UCI Jagung :kacang tanah, kacang hijau, jagung dan kedelai sebagai berikut :

Kedelai :

$$kc = -1.43143 + 14.35700(UCI) - 36.67270(UCI)^2 + 43.77950(UCI)^3 - 25.02150(UCI)^4 + 5.39189(UCI)^5$$

Kacang hijau :

$$kc = -2.09486 + 6.6917(UCI) + 26.4573(UCI)^2 - 102.479(UCI)^3 + 112.870(UCI)^4 - 41.0627(UCI)^5$$

Jagung :

$$kc = -1.85257 + 12.43420(UCI) - 13.53070(UCI)^2 - 12.91030(UCI)^3 + 28.13650(UCI)^4 - 11.74270(UCI)^5$$

Kedelai :

$$kc = -1.43143 + 14.35700(UCI) - 36.67270(UCI)^2 + 43.77950(UCI)^3 - 25.02150(UCI)^4 + 5.39189(UCI)^5$$

Kacang tanah :

$$kc = -2,10253 + 15,4038(UCI) - 22,1495(UCI)^2 - 6,40089(UCI)^3 + 31,3772(UCI)^4 - 15,8846(UCI)^5.$$

Kacang hijau :

$$kc = -2,09486 + 6,6917(UCI) + 26,4573(UCI)^2 - 102,479(UCI)^3 + 112,870(UCI)^4 - 41,0627(UCI)^5$$

Nilai koefisien transpirasi tanaman tanaman yang diperoleh mengikuti kecenderungan yang mirip satu dengan lainnya. Koefisien transpirasi pada tahap awal pertumbuhan kecil, kemudian meningkat dengan cepat pada fase vegetatif dan mencapai maksimum pada saat fase generatif, setelah itu menurun sampai masak fisiologis. Puncak koefisien transpirasi tidak sama untuk keempat tanaman, tergantung dari sifat tanaman masing-masing pada fase generatif, namun semuanya berkisar antara nilai satuan indek tanaman 0,4 – 0,5. Kalau dihubungkan dengan fase pertumbuhan tanaman ternyata pada saat tersebut tanaman telah mencapai fase pembungaan-pembentukan polong. Dengan demikian tanaman memang sedang memerlukan banyak air. Gambar koefisien transpirasi sebagai fungsi dari satuan indek tanaman dari ke-empat tanaman percobaan dapat dilihat pada Gambar 3.

Dengan nilai koefisien transpirasi tanaman terpilih tersebut juga dihasilkan nilai kebutuhan air tanaman setiap fase pertumbuhan atau total selama pertumbuhan tanaman. Hasil kebutuhan air tanaman pada musim

hujan dan musim kemarau disajikan pada Tabel 1.

Nilai kebutuhan air tanaman setiap fasenya berbeda-beda, perbedaan tersebut disamping disebabkan oleh lamanya waktu yang diperlukan untuk mencapai fase juga disebabkan oleh karakteristik tingkat pertumbuhan yang dicapai. Kebutuhan air tanaman pada musim kemarau lebih besar dibandingkan musim hujan, hal ini mudah dipahami oleh karena kondisi cuaca selama pertumbuhan tanaman pada musim kemarau, terutama seperti temperatur, radiasi, dan kelembaban udara memberikan dorongan dicapainya evapotranspirasi yang lebih besar. Nilai kebutuhan air tanaman setiap fasenya berbeda-beda, perbedaan tersebut disamping disebabkan oleh lamanya waktu yang diperlukan untuk mencapai fase juga disebabkan oleh karakteristik tingkat pertumbuhan yang dicapai.

Tabel 1. Kebutuhan air tanaman pada musim hujan dan kemarau (mm)

Fase	Kedelai	Kac. tanah	Kac. hijau	Jagung
I a.	10	10	10	10
b.	29	27	27	34
IIa.	81	64	81	132
b.	92	74	91	158
IIIa.	13	35	12	26
b.	23	53	26	34
IVa.	34	33	18	28
b.	60	61	39	52
Va.	53	60	25	18
b.	79	72	27	27
Tot a.	191	202	146	214
b.	283	287	210	305

Keterangan : a) musim hujan
b) musim kemarau

Pengujian keandalan model dalam memprediksi kebutuhan air tanaman dan koefisien transpirasi tanaman dilakukan pada dua musim tanam yang ekstrim, yakni pada musim hujan dan kemarau. Hal tersebut dilakukan untuk memperoleh suatu model yang baik dan dapat diterapkan pada kisaran kondisi lingkungan yang lebih luas.

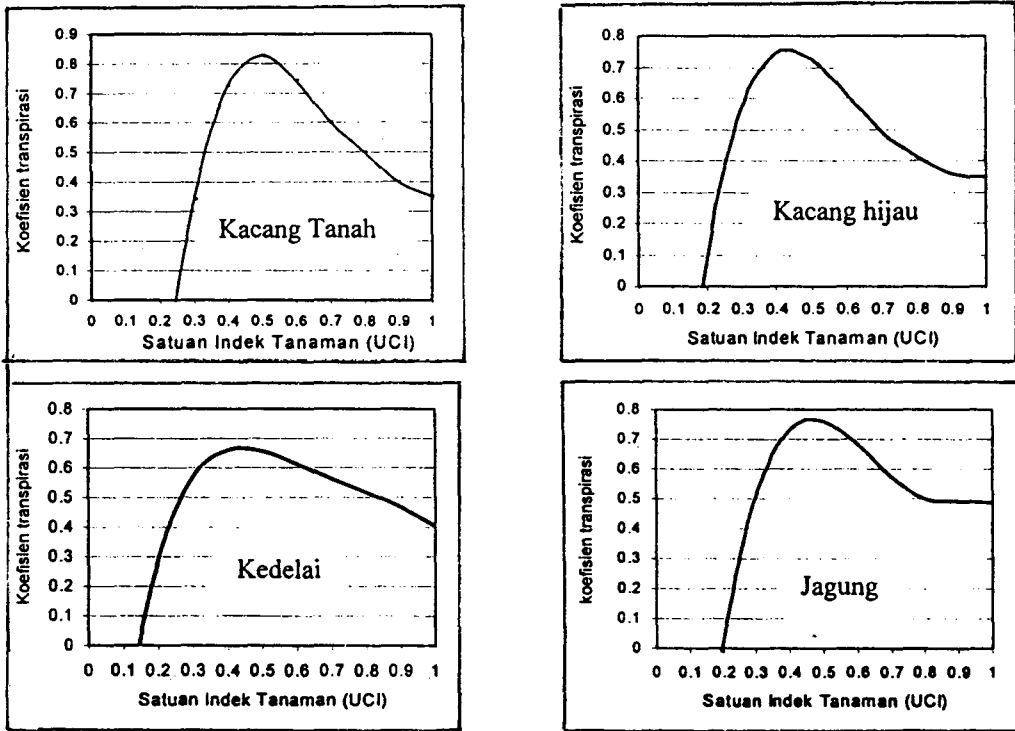
Hasil pengujian menunjukkan bahwa antara lengas tanah penga-

matan dan kadar air tanah prediksi (keluaran dari model) tidak berbeda, dengan nilai R kurang dari 5 %. Secara grafik juga menunjukkan hal yang serupa. Sebaran simpangan dari kadar lengas pengamatan dan prediksi menunjukkan adanya kesalahan yang acak. Hasil pengujian keandalan model disajikan pada Gambar 5 dan 6.

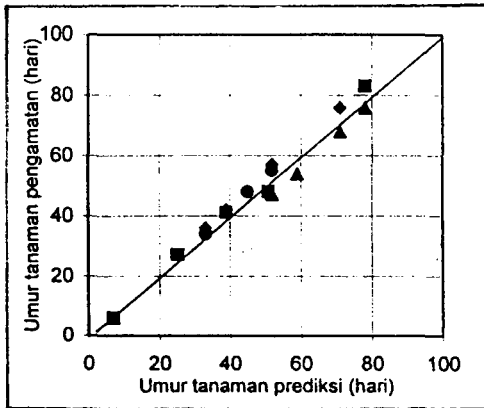
Tabel 1. Nilai indeks tanaman (CI) dengan umur prediksi (P) dan umur pengamatan (O)

Tanaman	Fase I			Fase II			Fase III			Fase IV			Fase V		
	C I	P	O	CI	P	O	CI	P	O	CI	P	O	CI	P	O
Kedelai	4 6	7	6	11 3	33	36	12 6	3 9	4 2	15 1	52	57	18 5	7 1	7 6
Kcg. Tanah	4 6	7	6	98	25	27	12 6	3 9	4 1	15 1	51	48	19 5	7 8	8 3
Jagung	4 6	7	6	15 1	52	47	16 4	5 9	5 4	18 4	71	68	19 5	7 8	7 6
Kcg. Hijau	4 6	7	6	11 3	33	34	12 6	3 9	4 1	13 9	45	48	15 1	5 2	5 5

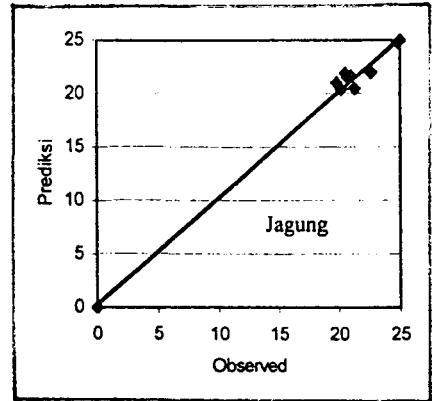
Keterangan : Kedelai var. Galunggung, Kcg. Tanah var. Gajah, Kcg. Hijau var. No 129, dan Jagung var. Arjuna (No. 1430).



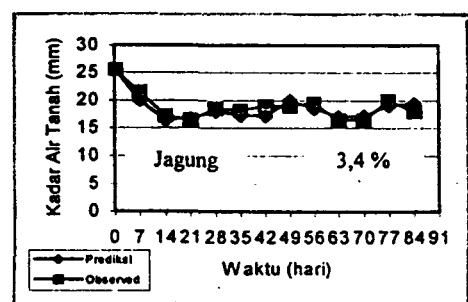
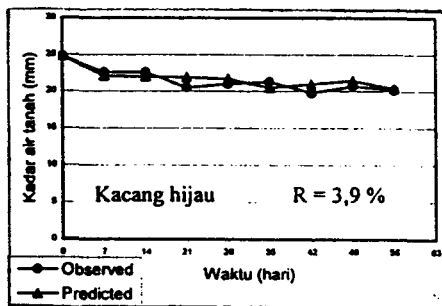
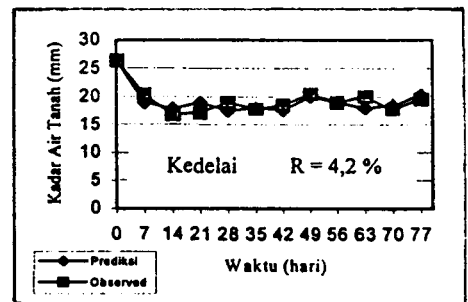
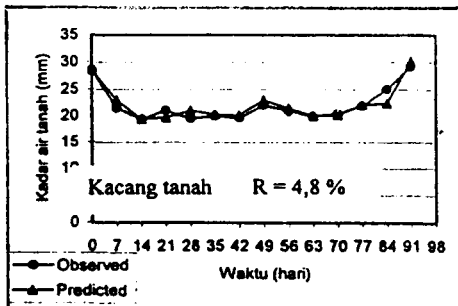
Gambar 3. Koefisien transpirasi tanaman sebagai fungsi dari Satuan Indeks Tanaman (UCI)



Gambar 3. Uji keandalan model dengan lengas prediksi dan pemngamatan



Gambar 5. Uji keandalan Unit Crop Index (UCI) , Umur prediksi dan pengamatan



Gambar . 6. Pengujian model dengan lengas tanah prediksi dan observed selama pertumbuhan

KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat dikemukakan beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Satuan indek tanaman (UCI) dapat digunakan untuk mempresentasikan tingkat pertumbuhan tanaman palawija dengan baik.
2. Koefisien transpirasi tanaman palawija hasil prediksi model dinyatakan sebagai fungsi polinomial derajat 5 dari satuan indek tanaman.
3. Pemodelan Pertumbuhan dan pemakaian air tanaman cukup handal digunakan untuk memprediksi kebutuhan air tanaman palawija setiap fase pertumbuhan dan total, dengan demikian prediksi kebutuhan air tanaman dapat dilakukan lebih mudah dan handal.
4. Penelitian lanjutan khususnya pada jenis tanaman palawija yang lain sangat perlu dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 1976. Pedoman Bercocok Tanam Padi, Palwija dan Sayuran. Ditjen Tanaman Pangan Departemen Pertanian.
- Doorenbos J and Pruitt W.O., 1977. Guidelines for Predicting Crop Water Requirement. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 24 Rome.
- Hill R.W. and Hank R.J., 1978. A Model for Predicting Crop Yield from Climatic Data. ASAE Paper No. 78-4030.
- Hermantoro, 1985. Kebutuhan Air Tanaman dan Tanggal Tanam Optimal Palawija di Way-Sekampung, Lampung Tengah. Skripsi S-1 Fakultas Teknologi Pertanian UGM.
- Hillel, D. 1980. Applications of Soil Physics, Academic Press, New York, USA
- Jensen M.E., 1973. Consumptive Use of Water and Irrigation Water Requirement. American Society of Civil Engineer 345 East 47 Street. NY.
- Pusposutardjo, 1983. Growth and Yield Modeling of Irrigation Soybean and Peanut in Tropical Monsoon Rainy Climate. Dissertation Submitted to The Utah State University.
- Pusposutardjo dan Sahid Susanto, 1993. Perspektif dari Pengembangan manajemen Sumber Air dan Irigasi untuk Pembangunan Pertanian. Kumpulan Karangan. Liberty Yogyakarta.
- Smith, M. 1991. Report On The Procedures for Revision of FAO Guidelines for Prediction of Crop Water Requirement. Land and Water.